©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beitrag zur Lehre von dem Baue des hyalinen Knorpels.

Von Prof. **E. Zuckerkandl.**

(Mit 2 Tafeln.)

In den letzten Jahren haben sich die Angaben über eine Architectur der bis dahin für structurlos gehaltenen Knorpelgrundsubstanz gehäuft; es wurde von H. Tillmanns[1] der fibrilläre Bau des hyalinen Knorpels gefunden, und andere Forscher[2] haben durch experimentelle, wie histologische Untersuchungen Resultate erhalten, welche die Unhaltbarkeit der bisherigen Lehre von der Beschaffenheit des hyalinen Knorpels klar und deutlich nachweisen. Die Acten über den Bau des Knorpels sind allerdings auch heute noch nicht geschlossen, aber mit dem Glauben an eine formlose Knorpelgrundsubstanz ist es vorbei.

Die Frage, die hinsichtlich der Knorpelgrundsubstanz in den letzten Jahren mit Vorliebe behandelt wurde, ist die, ob dem Knorpel Saftbahnen zukommen oder nicht. Ich wähle absichtlich den Namen Saftbahnen, nicht Saftcanälchen, um nicht eine bestimmte Art von präformirten Wegen, auf denen sich der Ernährungsstrom in anderen Geweben bewegt, zu präjudiciren. Obenan sind nun die bekannten Experimente von Reitz, Bubnoff, Arnold, Budge, Nykamp und Spina zu nennen, welche in das Gefässsystem lebender Thiere Farbstoffe

---

[1] Über die fibrilläre Structur des Hyalinknorpels. Archiv für Anatomie, Leipzig 1877.

[2] Bezüglich der Literaturangaben verweise ich auf die Schriften von: J. Arnold: die Abscheidung des indigschwefelsauren Natrons im Knorpelgewebe, Virchow's Archiv, Bd. 73. A. Budge: Weitere Mittheilungen über die Saftbahnen im Knorpel, und A. Spina: Über die Saftbahnen des hyalinen Knorpels, Sitzber. d. kais. Akad. der Wissensch., Bd. 80.

einführten, oder den Knorpel direct injicirten. Diese Versuche haben gezeigt, dass die infundirten, beziehungsweise injicirten Farbstoffe in den Knorpel eindringen, in der Grundsubstanz sich in Form eines feinen Netzes abscheiden und als dicke pericelluläre Schichte in den Knorpelcapseln sich ansammeln. Wiederholte Versuche ergaben stets die gleichen Bilder und hiemit ist nachgewiesen, dass in der so lange für formlos ausgegebenen Grundsubstanz eine solche Anordnung vorhanden ist (vielleicht Spalten), dass dort Farbstoffe gieriger oder doch leichter als in der umliegenden Substanz aufgesaugt werden. Diese Experimente machen es auch sehr wahrscheinlich, dass auf denselben Wegen, welche die infundirte Masse wählte, um sich auszubreiten, im lebenden Knorpel der Ernährungsstrom dahinfliesst. Budge spricht es geradezu aus, dass die farbigen Linien unendlich feinen Canälchen entsprechen, welche den Ernährungsstrom leiten.

Ähnliche Bilder wie Budge hat Spina, wenn auch durch andere Behandlungsweise des Knorpels erhalten. Beider Bilder stimmen überein; auch in Sachen der Ernährung gehen ihre Anschauungen nicht auseinander; aber hinsichtlich der Deutung hat jeder der Autoren seine eigene Ansicht. Was Budge für plasmahältige Canäle ausgibt, ist bei Spina ein Protoplasmanetz. Dieser Forscher sieht, wie die Zellen solide Fortsätze ausschicken, welche die Grundsubstanz durchziehen und mit Fortsätzen anderer Zellen in Verbindung treten. Spina spricht sich auch ganz entschieden gegen die Annahme aus, die infundirten Farbstoffkörnchen befänden sich in interfibrillären Spalten, und lässt im Protoplasmanetz den Ernährungstrom des Knorpels kreisen. Für erstere Theorie, dafür, dass die Saftbahnen in der interfibrillären Kittsubstanz lägen, spricht eine Reihe von sehr sorgfältig ausgeführten Infusions-Experimenten, welche Arnold angestellt hat.

Nach dem Vorhergegangenen gibt es drei Ansichten über die Bahnen, auf welchen sich der Ernährungsstrom des Knorpels bewegt. Die Einen nehmen präformirte Saftcanälchen an, nach Anderen durchfliesst der Ernährungsstrom ein Protoplasmanetz und wieder bei Anderen kommt es auf die interfibrilläre Kittsubstanz an.

Diese kurzen Bemerkungen schicke ich meinen eigenen Mittheilungen über die Structur des hyalinen Knorpels voraus.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ich habe im Nasenknorpel des Tapirs ein Gewebe kennen gelernt, welches in Bezug auf die Knorpelgrundsubstanz sehr schöne Bilder (Fig. 1—5) liefert. Was die Art derselben anbelangt, so stimmen sie mit den Bildern überein, welche Spina und Budge, ersterer in Fig. 1 und 3, letzterer in Fig. 4, der citirten Abhandlungen gegeben haben. Sind jedoch bei Weitem schöner; das typische Structurbild der Knorpelgrundsubstanz ist in meinem Falle weit distincter.

Die Nasenhöhle des Tapirs enthält zwei Knorpelplatten; die eine gehört der Scheidewand, die andere der äusseren Nasenhöhlenfläche an. Mit diesem Knorpel hat es folgende Bewandtniss: Die untere Nasenmuschel des Tapirs ist so stark entwickelt, dass sie nicht nur einen grossen Antheil der Nasenhöhle, sondern auch den grösseren Antheil des *Sinus maxillaris* für sich in Anspruch nimmt. Jener Theil der Muschel, der zunächst dem Siebbein liegt, bildet eine mächtige Blase, deren Convexität dem Nasenraume zugekehrt ist; dieser blasige Antheil repräsentirt das eine, obere Drittel der Muschel. Das mittlere Drittel liegt in der Flucht der äusseren Nasenwand und trägt fünf Knochenfalten, linkerseits blos drei, jedoch grössere, von welchen die untere, was Form und Grösse anlangt, einigermassen mit der menschlichen Nasenmuschel übereinstimmt. Das untere, zugleich vordere Drittel der Muschel bildet ähnlich dem oberen wieder eine Blase; ein Unterschied macht sich nur insoferne bemerkbar, als sein convexer Antheil in der Kieferhöhle steckt und entsprechend der äusseren Nasenwand vermittelst einer grossen Öffnung einen Verkehr mit der Nasenhöhle herstellt. Vor der Muschel ist überdies noch der *Sinus maxillaris* (von der Nasenhöhle aus) zugänglich. Die gemeinsame Öffnung der Nasenmuschel und der Kieferhöhle wird von einer dünnen Knorpelplatte verschlossen und diese Knorpelplatte zeigt einen sehr auffallenden Bau der Grundsubstanz.

Es zeigt wohl auch der Scheidewandknorpel eine deutliche Structur, aber diese ist nur stellenweise so characteristisch, wie der Knorpel an der lateralen Nasenwand. Der Knorpel wurde in absolutem Alkohol aufbewahrt und die Schnitte in Alkohol untersucht; ich habe demnach die Methode eingeschlagen, deren sich Spina bei seinen Untersuchungen des Knorpels bediente.

Die mikroskopische Untersuchung ergab nachstehende Resultate: Die hyaline Grundsubstanz wird von einem Netzwerke durchzogen, welches aus zarten, bündelweise angeordneten Fasern besteht und als Knotenpunkte Knorpelcapseln enthält (Fig. 1 und 2). Ein Faserbündel zieht von einer Knorpelcapsel zur nachbarlichen, um an derselben zu inseriren und an der entgegengesetzten Seite der Kapsel geht ein ähnliches Faserwerk ab, um dasselbe zu wiederholen. Man kann an den meisten Knorpelcapseln zwei Pole unterscheiden, von welchen die Faserbüschel ausstrahlen. Häufig ist jene Stelle des Bündels, welche der Knorpelcapsel zunächst liegt, ähnlich der Bundstelle einer Garbe, leicht eingeschnürt (Fig. 3). Das geschilderte Netz ist ziemlich regelmässig geformt, denn es kommt nicht vor, dass ein Faserzug eine zunächst gelegene Knorpelcapsel umgienge und an einer weiter entfernten inserirte; stets sind die Fasern zwischen zwei benachbarten Knorpeln ausgespannt. Das Netz ist auch weitmaschig, weil die Zellen, beziehungsweise Zellengruppen in ziemlichen Entfernungen von einander liegen. Die grossen Lücken des Netzes füllt ein scheinbar homogenes oder schwach granulirtes Gewebe aus. So verhält es sich im centralen Antheile der Knorpelplatte (Fig. 1*a*); gegen die Oberfläche hin (Fig. 1*b*) ändert sich das Bild ganz und gar. Die Zellen stehen dichter gesät, die Areolen des Netzwerkes sind bedeutend kleiner, die Balken des Netzwerkes selbst dichter, massenhafter auftretend und das feine Faserwerk beschränkt sich nicht mehr ausschliesslich auf die Zellenterritorien, sondern zieht auch in Form von breiten Bändern neben den Zellen dahin, und füllt die Lücken des engmaschigen Netzwerkes aus.

Noch näher der Oberfläche, im unmittelbaren Anschlusse an das Perichondrium erleidet das Faserwerk neben der Formveränderung auch eine Umordnung. Das Faserwerk wird noch dichter, die mehr oberflächlichen Knorpelcapseln senden nun am ganzen Umfange kurze Fasern aus, die schräg gelagert sind oder senkrecht zur Oberfläche des Perichondriums stehen. Es nehmen die Fasern eine Richtung an, wie sie O. Hertwig[1] für den

[1] Über das Zahnsystem der Amphibien etc. Arch. f. mikr. Anat. Bd. 11. Suppl. Heft.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Amphibienknorpel beschrieben hat. In der Übergangszone zwischen Knorpel und Bindegewebe gehen Fasern des Knorpels in die des Bindegewebes über. In Bezug auf die Endigungsweise der Faserbündel glaube ich mich mit Bestimmtheit dahin aussprechen zu dürfen, dass sie, wie ich im Übrigen bereits hervorgehoben habe, zwischen den Kapseln ausgespannt sind. Eine Ausnahme von diesem Verhalten macht nur der oberflächliche Theil des Knorpels. Hier scheinen Fasern zu verlaufen, die mit den Knorpelcapseln nichts zu schaffen haben. Eine Verbindung zwischen Knorpelzellen und Faserbündeln konnte ich nicht feststellen.

Die Fasern der einzelnen Bündel machen in situ betrachtet den Eindruck, als verbänden sie sich untereinander zu einem Netzwerk. Ich konnte mich aber von dem Vorhandensein verbindender Antheile nicht überzeugen, und es ist möglich, dass die optische Erscheinung der Netzform nur dadurch veranlasst wird, dass die einzelnen Fasern stellenweise sich von einander entfernen und an anderen Stellen wieder in Berührung treten; wie dem auch immer sei, eines ist sicher: In den Lücken zwischen den Fasern findet sich eine schwächer lichtbrechende Substanz (Kittsubstanz) eingeschaltet. Fig. 4 zeigt das Fasernetz eines Trockenpräparates; die Fasern sind weiss gezeichnet, während die schwächer lichtbrechende Substanz dunkel gehalten ist. —

Ich habe ferner das Verhältniss des Knorpels zu verschiedenen Reagentien geprüft und nachstehende Resultate erhalten: Mit Wasser versetzt, verschwand unter starker Dehnung des Objectes wie mit einem Schlage das Faserbild der Grundsubstanz bis an die Längsschichte des Perichondriums; die Grundsubstanz gewann ein gleichmässiges, granulirtes Aussehen (Fig. 5) und nur an einzelnen Stellen markirten sich die Fasernetze durch eine etwas deutlicher ausgesprochene Granulation. Minder rasch trat diese Erscheinung ein, wenn die Schnitte lange Zeit in absolutem Alkohol gelegen hatten. Lässt man einen Tropfen Wasser unter das Deckgläschen und beobachtet das Präparat, so bemerkt man, dass im Momente der Berührung des Schnittes mit der zugesetzten Flüssigkeit das Faserwerk enorm aufquillt und alsbald verschwindet; Behandlung des aufgequollenen Präparates mit Alkohol oder einer alkoholischen Ätzkalilösung ruft das

Faserwerk wieder hervor. Carmin übt einen ähnlichen aufquellenden Einfluss aus, und nur in wasserentziehenden Reagentien, in concentrirtem Glycerin und in Essigsäure erhält sich die Netzfigur der Grundsubstanz.

Unter dem Polarisations-Mikroskop erwies sich das Netzwerk doppelbrechend; sehr deutlich trat diese optische Erscheinung an Alkohol und Wasserpräparaten hervor, während Glycerinzusatz die doppelbrechende Eigenschaft des Faserwerkes merklich herabsetzte. Unter dem Polarisations-Mikroskop erkannte man auch recht deutlich, wie nach Wasserzusatz das Faserwerk verbreitert, gedehnt, gespannt und auseinander gezerrt wird.

Imbibition des Knorpels mit einer alkoholischen Lösung von Anilinroth und nachträglicher langsamer Auswaschung des Farbstoffes durch Alkohol lehrte, dass das Faserwerk mehr Farbstoff aufgenommen hatte, als die granulirt aussehenden Theile der Grundsubstanz und dass vom Faserwerk wieder die pericapsulären Antheile am intensivsten gefärbt waren; an Stellen, wo bereits das Faserwerk ganz entfärbt war, hatten nur noch die Zellenterritorien etwas Farbstoff zurückgehalten. Bei der Behandlung mit Eosin-Anilingrün färbten sich bloss die Zellen roth, während die Grundsubstanz ein blaues Colorit annahm. —

Auf eine Deutung des beschriebenen Befundes lasse ich mich vorläufig nicht ein. Ich will nicht discutiren, ob das als faserig beschriebene Netzwerk wirklich aus Fasern bestehe. Ich verweise bloss auf das auffallend grosse Imbibitionsvermögen seines Faserwerkes, welches zu der Annahme berechtigt, dass dem Netze in erster Linie die Aufgabe zufalle, den Ernährungsstrom des Knorpels aufzunehmen. Der Knorpel lässt den Vergleich mit einem Gewebe zu, welches von einem Dochtwerk durchzogen wird; das Dochtwerk saugt sich voll, und leitet den Ernährungsstrom durch den Knorpel. Ob dabei der Kittsubstanz des Netzwerkes im Sinne Arnold's eine Hauptrolle zufällt, wage ich nicht zu entscheiden. Ich kann aber auch nicht unterlassen anzuführen, dass, wenn ich mir die Kittsubstanz des Netzwerkes gefärbt vorstelle, ein Bild zum Vorschein kommt, welches mit der zweiten Figur der Arnold'schen Tafel viel Ähnlichkeit besitzt. —

Herrn Dr. Kerschner, der die beigegebenen Abbildungen anfertigte, fühle ich mich zu Dank verpflichtet.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1. Knorpelplatte der äusseren Nasenwand des Tapirs. Hartn. Obj. 4, Oc. 2.

a) Centrale Partie mit dem weitmaschigen Netzwerke,

b) peripherer, dem Perichondrium angeschlossener Theil des Knorpels. Die unterbrochenen Bündel der Zeichnung deuten Stränge an, welche sich zu Knorpelcapseln einer tiefer gelegenen Schichte begeben.

2. Dasselbe Object bei stärkerer Vergrösserung. Hartn. Obj. 7 Oc. 2. Im Centrum (*b*) sieht man das feinfaserige Netzwerk mit den intercalaren Knorpelzellen. Das Faserwerk wird gegen die Oberfläche dichter, strahlt radiär von den Zellen aus und geht entsprechend der Zone der Übergangszellen (*a*) in das die letztere umgebende Faserwerk über.
3. Knorpelcapsel mit den an entgegengesetzten Polen ausstrahlenden Faserbündeln. Die geschrumpfte Knorpelzelle hat sich innerhalb der Capsel zurückgezogen.
4. Ein Stück aus einem Faserbündel. Immers. Hartn. Nr. 10. Die lichten Streifen entsprechen den Fasern, die dunklen Zwischenräume der schwächer lichtbrechenden Kittsubstanz.
5. Centrale Partie des Knorpels nach Wasserzusatz. Das Fasernetz ist verschwunden, die Grundsubstanz granulirt. Vergr. Hartn. Obj. 7. Oc. 2.

www.biologiezentrum.at

Fig. 1.

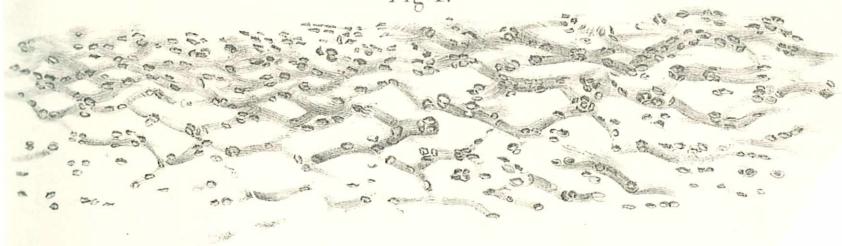


Fig. 5.

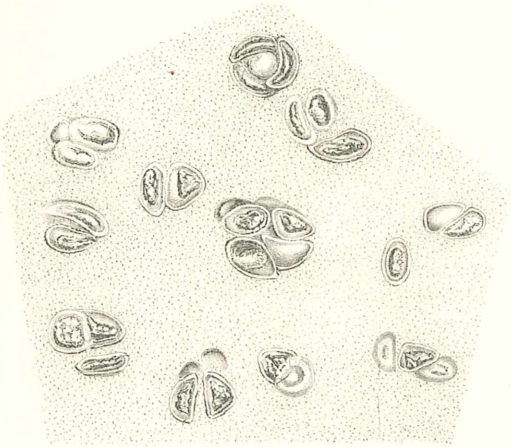
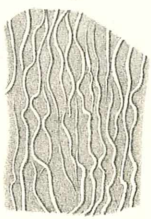


Fig. 3.

Fig. 4.

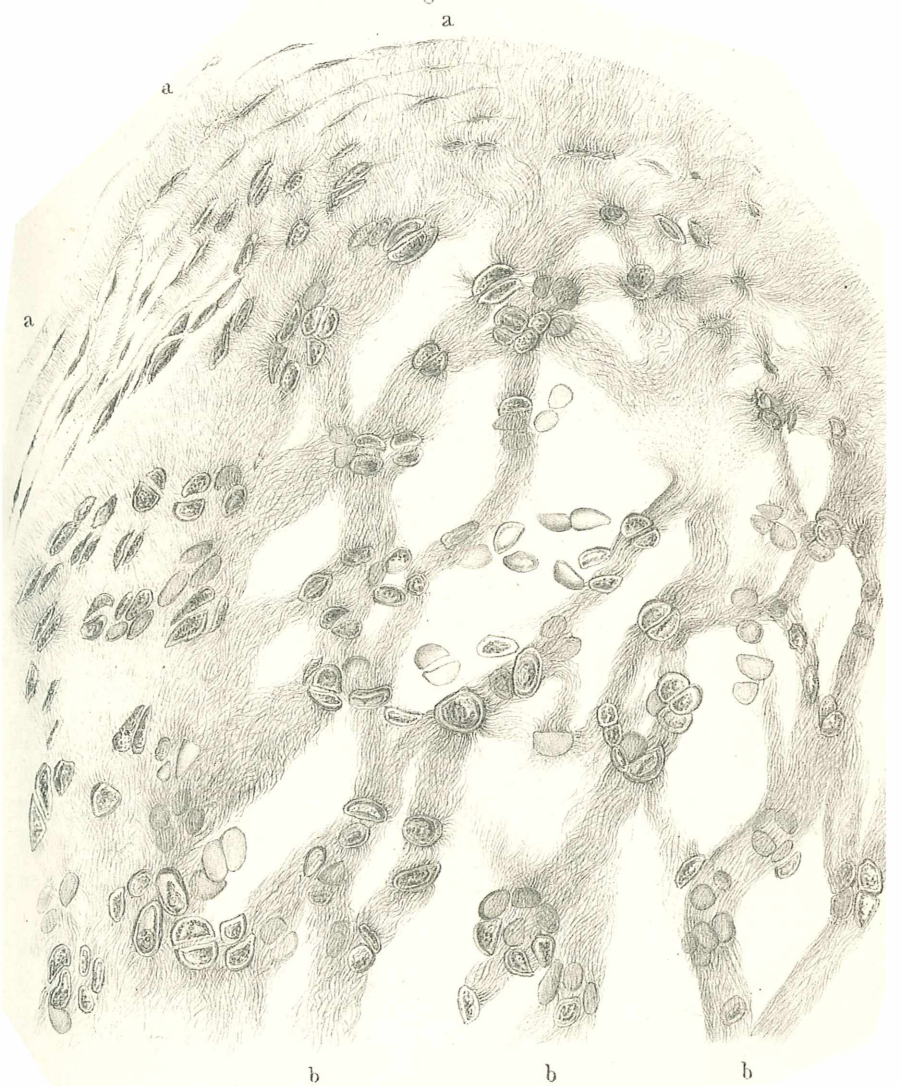


K. k. Hof u. Staatsdruckerei.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

© Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Fig 2.



K. k. Hof u. Staatsdruckerei.